

Genknown: aprenentatge actiu de la fisiologia animal comparada

Joan Carles Balasch,¹ Nerea Roher^{1,2} i Marta Ballvé i Martró³

¹ Unitat de Fisiologia Animal, Departament de Biologia Cel·lular, Fisiologia i Immunologia, Universitat Autònoma de Barcelona

² Institut de Biotecnologia i Biomedicina, Universitat Autònoma de Barcelona

³ Seminari de Formadors d'Aprenentatge i Servei (ApS), Institut de Ciències de l'Educació de la Universitat de Barcelona. Professora i coordinadora responsable dels projectes d'ApS de l'escola Mare de Déu dels Àngels (Barcelona)

El context: mancances en l'aprenentatge de la fisiologia animal comparada

La docència i l'aprenentatge de la fisiologia animal comparada demanen que l'alumne pugui integrar les descripcions funcionals dels òrgans i les respostes fisiològiques dels diferents animals en relació amb les condicions del medi, contextualitzades des d'una perspectiva evolutiva. Cal estudiar processos fisiològics complexos, com l'aclimatació a climatologies extremes o l'adquisició de noves pautes conductuals en resposta a pressions selectives del medi, valorant la interacció entre els diferents nivells d'organització en els éssers vius (cel·lular, tissular, organogràfic, individual, poblacional, interespecífic...), des de l'expressió fenotípica del genoma fins a les respostes funcionals que presenten les diferents poblacions d'individus en un context ecològic sovint canviant. En un intent de reduir aquesta complexitat conceptual i fer-la més digerible, a les aules sovint s'ofereix als alumnes la matèria fragmentada en blocs utilitaris o clàssics (fisiologia humana/mèdica/patològica vs. animal) o temàtics (fisiologia de sistemes, neurobiologia, endocrinologia, immunologia...). Tradicionalment, la docència de l'assignatura de Fisiologia Animal Comparada i Ambiental en el grau de Biologia de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) s'ha dut a terme combinant (i) l'exposició dels continguts teòrics fonamentals en forma de classes magistrals (42 hores), amb (ii) treballs de seminari (12 hores), en què els alumnes valoraven en grup les característiques adaptatives d'una espècie concreta en el seu medi habitual o artificial, mirant d'emfatitzar l'enfocament sistèmic de l'anàlisi fisiològica, acompanyats de (iii) classes pràctiques de laboratori (12 hores). Aquesta seqüenciació pot afavorir l'assimilació pautada i progressiva dels continguts, però sovint dificulta la comprensió global, sistèmica i integrada dels processos fisiològics en els diferents nivells d'anàlisi, tant en les activitats de recerca d'informació rellevant per la matèria com en la síntesi i comprensió final dels continguts. En aquest sentit, hem observat que l'alumnat de les assignatures de Fisiologia Animal Comparada i Ambiental impartides a la UAB en els últims anys en els graus de Biologia i Biologia Ambiental té dificultats per:

- 1) Transferir, comparar i contrastar els coneixements adquirits en estudiar els conceptes i els processos de la fisiologia basada en models múrids/humans/clínic a la resta dels animals presents en el medi natural.

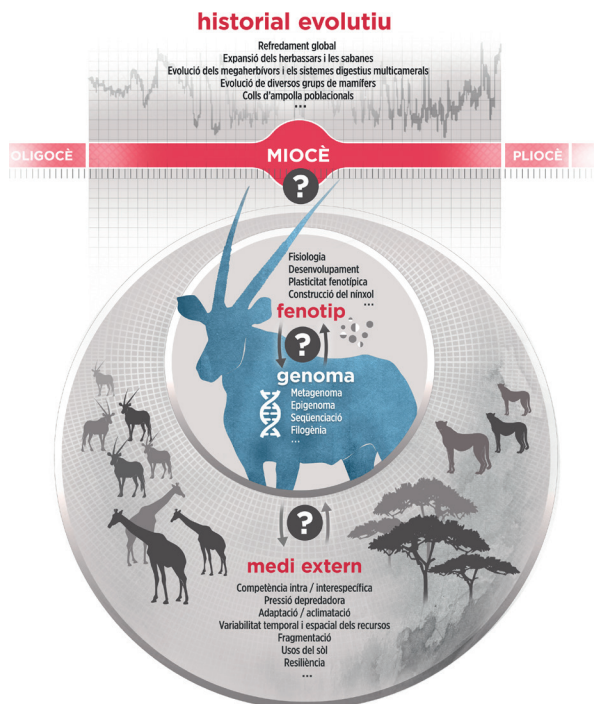
- 2) Discriminar i seleccionar críticament la informació obtinguda de les fonts primàries (articles en revistes especialitzades, monografies...) i secundàries (articles de revistes generalistes, blogs de divulgació, xerrades TED...).
- 3) Integrar la informació genòmica, fenotípica, ecològica i evolutiva en els diferents nivells d'anàlisi fisiològica que facilita la comprensió global dels processos fisiològics, pròxims (interaccions actuals entre els diferents organismes i medis) i últims (condicionants evolutius i sorgiment d'adaptacions específiques en els diferents llinatges).
- 4) Comunicar eficaçment els resultats de l'aprenentatge, identificant els criteris de qualitat de la informació que es proporciona.

La justificació: més enllà de la fisiologia clàssica

La conceptualització fisiològica clàssica beu de l'experimentació basada en models animals d'importància clínica (principalment rosegadors múrids i primats). En l'última dècada, però, l'abaratiment de les tecnologies de seqüenciació genòmica d'elevat rendiment (*high-throughput*), actualment en la tercera onada metodològica (Giani *et al.*, 2020), ha facilitat la incorporació de seqüències genòmiques d'espècies poc estudiades, més enllà dels models clàssics (Ellegren, 2014). La inclusió de l'anàlisi genòmica en la valoració fisiològica ha ampliat el coneixement de les interaccions entre genoma, fenotip i medi extern (Figura 1) en espècies tan allunyades dels laboratoris com les girafes (Agaba *et al.*, 2016) o els ossos polars (Welch *et al.*, 2014), a més de definir acuradament el llegat evolutiu d'adaptacions específiques que condicionen la fisiologia i el desenvolupament dels sistemes reguladors en els animals. L'aproximació genòmica facilita que la modelització fisiològica s'enriqueixi i es faci més sistèmica, però exigeix alhora una comprensió metodològica adequada de les tècniques genòmiques i de la xarxa d'interaccions genètiques que condicionen els canvis fenotípics. Com demostren les polèmiques recents sobre la rellevància de la transferència horitzontal de gens en els tardígrads (Koutsovoulos *et al.*, 2016) –encara controvertida– o la demanda creixent per aconseguir que els articles científics no es limitin només a descriure les característiques genòmiques, en detriment de la formulació d'hipòtesis específiques relacionades amb la funcionalitat fisiològica (Viney, 2014; Smith, 2016), la interpretació genòmica dels processos fisiològics no està exempta de problemes, però els avantatges d'afegir el nivell genòmic a l'estudi comparat de la fisiologia superen amb escreix les seves limitacions tècniques. És per això que la interpretació genòmica dels processos fisiològics depèn de (i) les limitacions metodològiques i tècniques pròpies de cada tipologia d'anàlisi genòmica i (ii) la manca d'experiments de caire funcional que ens ajudin, més enllà de la descripció estructural dels gens analitzats, a lligar els trets genòmics amb les característiques fisiològiques. Com gairebé sempre que una nova tecnologia irromp en l'àmbit fisiològic, el problema és acotar la interpretació i significació que la nova aproximació proporciona a la descripció funcional clàssica. En aquest sentit, per aprendre i contextualitzar correctament la informació derivada de les fonts primàries en l'anàlisi

fisiològica actual, esdevé essencial que l'alumne pugui valorar no només la interpretació de cada experimentació que fan els investigadors, sinó també la qualitat del disseny experimental i la idoneïtat de la metodologia/tècnica de seqüenciació genòmica triada per resoldre el plantejament experimental. Per exemple, no és el mateix extrapolar interaccions fisiològiques o conseqüències per a la salut utilitzant un genoma de referència d'alta qualitat, amb la majoria dels gens presents en el genoma ben caracteritzats i una bona cobertura analítica i representativa del genoma real, que refiar-se d'un esborrany (*draft*) genòmic de menys qualitat, amb una taxa més gran d'errors, tant en l'adscripció de fragments de seqüències analitzades a gens concrets com en la quantitat i la representativitat dels fragments analitzats. O, enfrontats amb la necessitat o no de recuperar ecosistemes pretèrits mitjançant la introducció d'espècies prèviament extingides, com s'ha suggerit recentment per al mamut en la tundra siberiana, cal comprendre, més enllà de les consideracions ètiques i ecològiques de la des-extinció, les limitacions procedimentals per recuperar i completar genomes degradats provinents de restes fòssils (Lynch, 2015).

Figura 1. Els nivells d'estudi en l'ecofisiologia actual, basada en l'anàlisi genòmica. L'estudi de la fisiologia d'un animal no s'entén si no és atenent les seves peculiaritats genòmiques, producte de la seva història evolutiva, que, a la vegada, condicionen l'expressió dels diversos fenotips fisiològics i conductuals que l'enfrontaran a les pressions de selecció del medi. En aquesta versió integradora, encara no disposem de marcs conceptuals precisos per descriure funcionalment els connectors (interrogants en la figura) imprescindibles per comprendre els processos fisiològics d'ajustament al medi en la immensa majoria de les espècies.



A la valoració genòmica de la fisiologia actual cal afegir també els esforços recents per unificar en un entramat teòric d'ecologia evolutiva del desenvolupament o *eco-evo-devo* (Gilbert *et al.*, 2015) les interaccions entre les característiques del genoma, la capacitat plàstica del fenotip per variar en funció de les pressions del medi extern (Beaman *et al.*, 2016) i la mal-leabilitat dels sistemes de regulació nerviosa, endocrina i immunitària durant el desenvolupament embrionari, que condicionaran més tard l'entramat i la capacitat de resposta fisiològica en l'adult (Gilbert, 2016), en un context ecològic concret i constret per una història evolutiva prèvia. Conceptes com la simbiosi o la coevolució d'estratègies immunitàries entre els hostes i els seus paràsits, per exemple, no s'entenen si no és amb referència als condicionats ecològics que, en un lloc i un temps concrets, decidiran el recorregut adaptatiu de les fisiologies en col·lisió. L'efecte de les activitats humanes sobre el clima i sobre els recursos naturals fa que aquesta aproximació multifactorial a l'estudi diferencial de les respostes fisiològiques dels organismes en situacions normals i estressants, en fases primerenques o tardanes del desenvolupament i en ecosistemes a vessar de xenobiòtics i altres contaminants emergents, tingui més rellevància que mai.

Per tot plegat, la definició mecanicista clàssica de la fisiologia s'ha expandit i ha entrant de ple en la biologia de sistemes moderna (Noble *et al.*, 2014), cosa que ha agreujat encara més la fragmentació habitual del seu ensenyament en les aules. Com a resultat, l'enfocament integrador, teòric i experimental que ha experimentat la fisiologia animal comparada des dels àmbits de la genòmica funcional i l'anàlisi evolutiva del desenvolupament embrionari exigeix un esforç de síntesi conceptual per part dels alumnes de fisiologia animal, que sovint tenen interessos i formacions curriculars diferents, així com filies i fòbies a determinades matèries, com la biologia molecular, la bioquímica o la genòmica, considerades més complexes conceptualment en l'ideari biològic (actualment desacreditat per la mateixa transversalitat que requereix la investigació però que encara perdura en l'alumnat) que diferencia biòlegs de "bota" i "bata" en funció de l'aversion al treball de laboratori dels primers. Per mirar de pal·liar les mancances en l'aprenentatge de la fisiologia animal comparada i integrar-hi les aproximacions genòmica, ecològica i evolutiva recents, en el projecte Genknown, finançat per l'Oficina de Qualitat Docent de la UAB, vam decidir utilitzar estratègies d'aprenentatge actiu combinades amb l'exposició magistral de la matèria amb l'objectiu de:

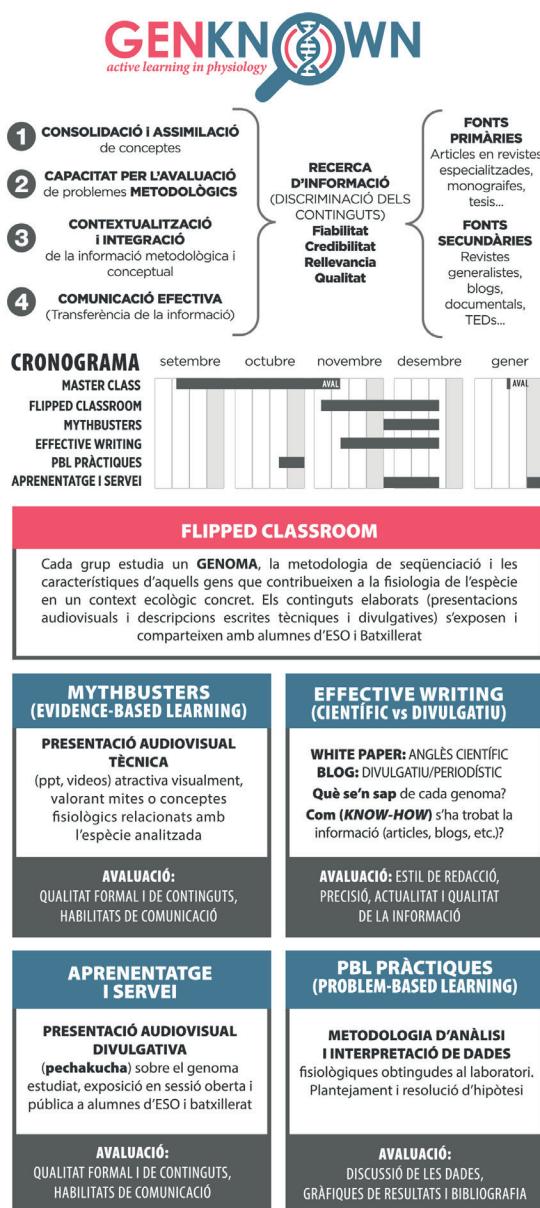
- 1) Consolidar l'assimilació dels conceptes clau relacionats amb la fisiologia animal (genòmica funcional, evolució, adaptació, plasticitat fenotípica...) i ajudar l'alumnat a eliminar i redefinir els conceptes preconcebuts o erronis.
- 2) Reforçar les capacitats per avaluar la metodologia genòmica i el disseny d'experiments relacionats amb les aproximacions metodològiques recents a la fisiologia animal, per proporcionar a l'alumnat criteris consistents i de qualitat que l'ajudin a verificar els conceptes i els arguments que es discuteixen en els articles científics i divulgatius, així com a valorar-ne la fiabilitat, la credibilitat i la rellevància de manera crítica.

- 3) Contextualitzar la informació metodològica i conceptual obtinguda en els objectius (1) i (2) per millorar-ne la consolidació i la integració.
- 4) Divulgar la informació recollida i integrada, potenciant l'adquisició d'habilitats tant per a l'escriptura científica i tècnica com per a la de caire més periodístic o divulgatiu, entenent que la capacitat de comunicar la rellevància dels resultats experimentals en un marc teòric/conceptual és una feina imprescindible per als investigadors, i no s'ha de circumscriure només a l'àmbit especialitzat.

Les metodologies de classe inversa (*flipped classroom*) i aprenentatge servei (ApS) i les habilitats comunicatives orals i escrites

Donada la diversitat d'orígens i formacions prèvies de l'alumnat que escull l'assignatura de Fisiologia Animal Comparada i Ambiental del grau de Biologia, i per uniformitzar els coneixements i equilibrar la base de coneixements comú, durant la primera meitat del trimestre es duen a terme classes magistrals per centrar els temes a tractar i proporcionar les beceroles del cos teòric a desenvolupar posteriorment en els aprenentatges actius: fisiologia animal comparada dels grans sistemes reguladors – nerviós, endocrí i immunitari–, adaptacions termoreguladores en medis càlids i freds, les funcions cardiorespiratòries, osmoreguladores i excretores en medis terrestres i aquàtics i l'adaptació estacional de les pautes reproductives. Per assolir els objectius esmentats en l'apartat anterior s'utilitzen metodologies actives basades en la personalització de l'aprenentatge (Figura 2), utilitzant un model de classe inversa (*flipped classroom*), que ja ha demostrat la seva vàlua en l'àmbit de la fisiologia humana i mèdica (McLean *et al.*, 2016; Vujovic, 2016) com a base per gestionar i personalitzar l'aprenentatge durant la segona meitat del curs. La temporització de les diverses activitats varia cada curs en funció del nombre d'alumnes i la disponibilitat de les aules amb servei de connexió a internet i taules mòbils de què disposa la Facultat de Biociències. Hem constatat que la presentació i la delimitació dels objectius de les metodologies actives i, per tant, l'inici de la recerca en grup dels materials necessaris per part de l'alumnat són més eficaços si es fan abans de la finalització programada de la docència magistral. Així, els alumnes tenen més temps per començar la recerca de les diverses fonts d'informació i poden organitzar millor els diferents rols dins de cada grup.

Figura 2. Esquema del projecte Genknown. Partint de les necessitats i les mancances de l'alumnat de Fisiologia Animal Comparada i Ambiental del grau de Biologia vam establir un model combinat de classe magistral i classe inversa. Cada grup d'alumnes busca informació d'un genoma d'una espècie animal i elabora continguts educatius especialitzats i divulgatius per als mateixos companys i per a alumnes d'ESO i batxillerat. El cronograma és orientatiu i varia en funció del nombre d'alumnes i la disponibilitat de les aules a cada curs.



Per estructurar la classe inversa (objectius 1, 2 i 3), a l'inici de cada curs el professorat fa un buidat dels projectes genòmics actualitzats, associats a espècies concretes d'animals que serveixen, per les seves característiques vitals i història evolutiva, com exemple i model per discutir la fisiologia de les adaptacions a una variable ambiental (temperatura, osmolaritat, immunitat, etc.) en un paisatge ecològic específic. Això ens ajuda a ampliar el contingut de les classes magistrals, afavorint que l'alumnat aprofundeixi en la metodologia d'anàlisi i discriminació de la informació, consolidant i prioritzant les fonts d'informació en funció de la qualitat del contingut. Un cop triats, a cada grup de 3-4 alumnes s'assigna un genoma i es demana que resolguin les qüestions associades a l'anàlisi del genoma des d'una perspectiva ecofisiològica centrada en la vinculació dels gens trobats en seqüenciar cada genoma i la fisiologia de les adaptacions de cada animal en el seu medi preferit o habitual. La resolució del PBL (*Problem Based Learning*) associat a cada animal inclou l'estructura per elaborar l'anàlisi de la informació rellevant per cada genoma, l'estructuració de les idees/formulació d'hipòtesi per descriure el que sabem de cada genoma i com hem arribat a saber-ho, les metodologies per cercar informació rellevant i l'elaboració de (a) dos informes finals, en format *white paper* i blog, escrits en anglès científic/tècnic i divulgatiu, respectivament, i (b) dues presentacions orals (*mythbusters* i *pechakucha*, de naturalesa tècnica/especialitzada i divulgativa, respectivament) per valorar les habilitats comunicatives de l'alumnat.

Quant a la comunicació escrita (*effective writing*) (objectius 2 i 4), amb aquesta estratègia es pretén que l'alumnat aprengui a discriminar la qualitat, la fiabilitat, la rellevància i la credibilitat de la informació que obté per resoldre el PBL, i que sigui capaç d'expressar els resultats del seu treball de manera eficaç, considerant un públic especialitzat i un de generalista. Per això es demana que els resultats de la seva recerca s'exposin en grup: (i) en un redactat utilitzant un estil d'anglès científic/tècnic amb format de revisió metodològica i raonament fisiològic (*white paper*) i (ii) en un redactat en català, castellà o anglès col·loquial/divulgatiu/no especialitzat basat en l'estil d'escriptura divulgativa habitual dels blogs científics (Figura 3). Vam optar pel format *white paper* per poder-hi incloure no només una revisió bibliogràfica sobre el genoma assignat, sinó també un apartat en el qual els alumnes discuteixen el saber fer (*know-how*), l'estratègia de recerca que han utilitzat, les fonts d'informació/bases de dades que han consultat i les característiques generals de la tècnica de seqüenciació genòmica descrita en la literatura de cada espècie. Fer-ho en anglès, la llengua vehicular en l'àmbit científicotècnic, reforça la necessitat de dominar l'expressió i la comunicació tècniques en aquesta llengua. En el cas del blog, l'estructura és la mateixa però molt més simplificada, substituint la descripció de l'estratègia de recerca i la tècnica de seqüenciació genòmica per una descripció raonada de la vinculació entre els gens analitzats i els aspectes rellevants de la fisiologia de cada espècie, amb una breu llista bibliogràfica que permeti al lector saber-ne més. En aquest cas el redactat és opcional en català, castellà o anglès atenent al caire divulgatiu que es vol assolir. El professorat valora conjuntament amb l'alumnat els canvis i les modificacions dels dos tipus de documents diverses vegades abans de lliurar-los definitivament, per consolidar les habilitats d'escriptura.

Figura 3. Pautes per diferenciar el format d'un *white paper* i d'un *blog*, un exemple dels recursos i materials que es treballen en els tallers de comunicació en el projecte Genknown. Els exemples suggerits ajuden a definir formalment i visualment la línia de treball i bones pràctiques per a cada taller.

<div>Writing a scientific white paper</div> <div>Basic guidelines</div>	<div>Writing a scientific blog post</div> <div>Basic guidelines</div>
<div>What is it?</div> <div>A white paper is a report which informs the reader about a particular topic. The purpose is educational and is directed to a specialised audience. It is fact-based and data-backed, providing justification of information and arguments through proper referencing. But it is not a research paper and can include information from other sources such as newspapers. It is like a detailed review of one topic.</div> <div>The language style is clear and academic but not rigid and should be easy to read.</div> <div>The length is 8-10 pages, including relevant graphs and figures. This is followed by the references.</div> <div>Format</div> <div><div>1. Title</div><div>The title should attract readers but also be informative.</div><div>2. Abstract</div><div>A brief description (max 250 words) of what your white paper is about.</div><div>3. Introduction</div><div>Introduce your topic with something to attract your audience (a curiosity, a problem, a relevant news item, a mystery). State the issue your report will deal with. Summarize the key areas your paper will cover.</div><div>4. Sections</div><div>The white paper is dividing into short sections with sub-headings. Organize these sections as you consider is the most logical way to present the information. The information needs to be well researched and sourced. Provide illustrations, and figures to help the reader.</div><div>5. Conclusions</div><div>Briefly summarize the main points made, highlighting a "take home message".</div><div>6. References</div><div>An extensive list of relevant references.</div><div>An example:</div><div>A white paper for sequencing the genome of a living fossil: the coelacanth, <i>Latimeria chalumnae</i></div><div>Please note: The model we provide is more dense than we expect you to submit. However, it is very useful to get an idea of what is a white paper and how to organize information.</div></div>	<div>What is it?</div> <div>A scientific blog post is a brief report, which informs the reader about a particular topic using narratives and storytelling. The purpose is educational, and is directed to a broader audience, including non-specialists. It is fact-based and data-backed, providing justification of information and arguments through minimal referencing.</div> <div>The language style is clear and avoids unnecessary technical jargon or acronyms, and should be easy to read.</div> <div>The length is 1000-2000 words.</div> <div>Format</div> <div><div>1. Title</div><div>The title should attract readers, be short (10 words or less) and intriguing and may include a "hook" (provocative question). A descriptive subtitle is optional but may be useful to start the narrative.</div><div>2. Main text</div><div>Narratives are easier to comprehend and could improve knowledge acquisition about science compared with the traditional expository curriculum. The topic usually is exposed using dramatization, emotionalization, personalization, or fictionalization. Unlike in academic writing, paragraphs are shorter, to help readers hop on board with each new idea. First sentences must be indelible.</div><div>3. References (optional)</div><div>References may be also hyperlinked in the main text. Extra content (related items/videos, etc.) can also be included here.</div><div>Examples:</div><div>Hippos Poop So Much That Sometimes All the Fish Die <i>Their dung consumes the oxygen around it, creating lethal pulses of suffocating water.</i></div><div>What Ecstasy Does to Octopuses</div><div>The 'Zombie Gene' That May Protect Elephants from Cancer</div><div>Deep in Human DNA, a Gift from the Neanderthals <i>Long ago, Neanderthals probably infected modern humans with viruses, perhaps even an ancient form of HIV. But our modern cultures may have no genetic memories.</i></div></div>

Pel que a la comunicació oral, a *mythbusters* i *pechakucha* (objectius 1, 2 i 3), per reforçar i valorar les claus de la comunicació oral de conceptes complexos de fisiologia, cada grup discuteix i presenta oralment un “mite”, definit com un concepte fisiològic o afirmació curiosa o discutible relacionada amb l'espècie de la qual analitzen la informació genòmica disponible. Reproduint la pràctica habitual en les presentacions dels seminaris i congressos científics, es discuteix l'origen del mite/concepte i la fisiologia que hi ha al darrere des d'una aproximació tècnica i especialitzada, exposant els conceptes mitjançant una presentació amb PowerPoint de no més de 10 minuts de durada, en la qual participen tots els integrants de cada grup. A continuació, es fa un “mercat de preguntes”, en el qual participa tota la classe i es valoren per coavaluació amb rúbriques específiques tant el contingut formal (estructura, concreció expositiva, capacitat de síntesi...) com el visual (qualitat del grafisme, aplicació de les normes del disseny gràfic a l'exposició...), així com les habilitats expositives (narrativa oral i gestual, ús del llenguatge tècnic i capacitat de respondre a les preguntes) de cada presentació. L'experiència serveix també com a assaig per a la segona activitat d'exposició/comunicació oral (*pechakucha*) que es duu a terme a finals de gener, quan ja gairebé ha acabat el període lectiu en el si de l'experiència d'aprenentatge i servei. En acabar el curs, els alumnes de Biologia fan una presentació oral a la sala d'actes de la Facultat de Biociències, en format *pechakucha* (20 imatges/20 segons per imatge, sense possibilitat d'alterar la temporització), a alumnes d'ESO i batxillerat, utilitzant la informació descrita en el blog, adaptada a la seva exposició audiovisual en un format divulgatiu assequible per a un públic general no especialitzat. Prèviament a les exposicions, l'alumnat rep uns tallers formatius a càrrec del professorat sobre (a) disseny gràfic aplicat a la construcció i maquetació de presentacions per fer més efectiva la disposició i presentació dels elements gràfics associats al contingut exposat, i (b) tècniques de comunicació oral de la informació, amb l'ajut de bibliografia i recursos audiovisuals, diferenciats per conferències tècniques i exposicions de tipus TEDtalk de caire més divulgatiu.

Amb relació amb l'aprenentatge servei o ApS (objectius 1, 2, 3 i 4), la recerca i contextualització de la informació genòmica que es tradueix en el blog s'utilitza per elaborar material didàctic adaptat per a la docència de la biologia a ESO i batxillerat al col·legi Mare de Déu dels Àngels de Barcelona. Així, els alumnes de Fisiologia Animal Comparada fan un servei a la comunitat compartint els aprenentatges adquirits mitjançant la preparació de material didàctic perquè els alumnes d'ESO i Batxillerat, els usuaris dels servei, el puguin analitzar, treballar i ampliar a classe, preparant preguntes que l'alumnat de Biologia respon un cop acabada la presentació en format *pechakucha*. Per tant, entenem l'experiència en clau d'ApS (Ballvé i Martró, 2018) per fomentar l'aprenentatge entre iguals. Es pretén així que els alumnes de Fisiologia desenvolupin competències comunicatives i habilitats de presentació en públic d'uns coneixements especialitzats i, que, alhora, siguin capaços d'exposar-los en un format divulgatiu, integrat i senzill, de manera que transfereixen el seu coneixement i donen un servei als alumnes d'ESO i batxillerat, que poden incorporar aquests recursos al temari curricular. Destaquem també molt positivament l'efecte del projecte Genknown per als alumnes del col·legi Mare de Déu dels Àngels. A més

de l'enriquiment propi del dia en què participem en l'exposició dels pechakucha, prèviament els alumnes de 4t d'ESO i batxillerat llegeixen conjuntament i treballen de manera cooperativa els continguts corresponents als blogs d'una espècie concreta, formulant-se preguntes, investigant sobre el genoma de l'espècie i enfortint el seu interès i curiositat envers el tema treballat. És una activitat que desperta la vocació científica i reforça el gust per saber, conèixer, aprendre, formular-se preguntes i treballar de manera transversal entre els alumnes de diferents etapes. Té un efecte molt enriquidor en el seus aprenentatges i motivació per aprendre.

Quant a l'aprenentatge basat en problemes (ABP) de pràctiques (objectius 1, 2 i 3), les pràctiques de laboratori inclouen la valoració incruenta del comportament (proactivitat vs. reactivitat conductual) i la capacitat de resistència metabòlica (homeòstasi de les variacions de temperatura) en els peixos, cada vegada més convertits en models d'anàlisi fisiològica en condicions d'augment antropogènic de la temperatura global, contaminació recurrent i *eco-evo-devo* (Braasch *et al.*, 2015). A diferència d'altres anys, en què les pràctiques de la Fisiologia Animal Comparada i Ambiental es valoraven amb un informe escrit en finalitzar la pràctica, que resumia el treball fet al laboratori a partir d'una estructura única pautada, el projecte Genknown inclou una sessió prèvia on els alumnes proposen, elaboren i discuteixen amb tot el grup hipòtesis i metodologies experimentals que poden ajudar a resoldre el problema plantejat a l'inici de la pràctica (com valorar la conducta? I el metabolisme? Amb quines espècies de peixos? Quin nombre d'animals són necessaris per avaluar correctament els resultats?...). Un cop feta la pràctica, a l'informe de pràctiques s'analitzen els resultats, contrastant-los i comparant-los amb les hipòtesis plantejades, traient-ne els punts forts i les debilitats de l'aproximació teòrica proposada i l'experimental que s'ha fet i la que s'hauria de fer per reforçar les conclusions experimentals.

Els resultats:

la coexistència necessària dels model expositiu i l'aprenentatge actiu

Per a l'avaluació de les classes magistrals optem per un model d'examen individual (50% de la nota final de l'assignatura) basat en preguntes curtes, referides a la definició breu de processos fisiològics, i preguntes de síntesi, més extenses, referides a la integració de conceptes fisiològics en diferents espècies. Per a l'avaluació de l'aprenentatge actiu (50% de la nota final de l'assignatura) s'utilitzen rúbriques específiques (Figura 4) per a cadascuna de les activitats proposades, que ajuden a avaluar quantitativament i qualitativa cada activitat. Les activitats de redacció efectiva s'avaluen considerant els continguts i l'estructura formal, així com la complexitat i el grau de representativitat del procés de recerca de la informació, considerant a quin públic va dirigit per valorar els continguts i l'estructura formal i gramatical. A les activitats de comunicació oral, els *mythbusters* s'avaluen per coavaluació i es tenen en compte el contingut, l'estructura, el grafisme i les habilitats comunicatives de la presentació i també la qualitat de les preguntes fetes i les respostes en el "mercat

de preguntes”. En el cas del pechakucha, es valora la qualitat i l’estructura formal de la presentació basada en els materials didàctics, així com la capacitat i la qualitat de les respostes a les preguntes de l’alumnat d’ESO i batxillerat. Així s’aconsegueix una avaluació multifocal en algunes de les activitats. Per a l’avaluació de l’ABP de pràctiques es tenen en compte els continguts de l’informe, considerant la qualitat de les hipòtesis proposades i dels resultats un cop feta la pràctica, així com la discussió i la comparació dels resultats.

Figura 4. Exemple de rúbriques per a la valoració de les presentacions orals i l’informe de l’ABP de pràctiques en el projecte Genknown

Rúbrica presentacions orals (Mythbusters i Pechakucha)

Ítem	Pes	Molt adequat (Excel·lent: 9-10)	Adequat (Notable: 7-8)	Bàsic (Aprovat: 5-6)	Inadequat (Suspens: 0-4)
Qualitat formal i de continguts	75%	Es presenten de forma sintètica i ordenada els conceptes i objectius. La presentació té un disseny que facilita la seva comprensió i aconsegueix captar l'atenció de l'espectador. S'ha triat correctament el tipus i mida de lletra, així com els colors, incorporant elements gràfics i visuals adequats.	Es presenten de forma força sintètica i força ben ordenada els conceptes i objectius, encara que no repartint prou bé l'espai segons la importància atribuïda a cada un dels ítems. La presentació té un disseny correcte que permet la seva comprensió però amb alguns aspectes no ben resolts que dificulten la seva lectura o no aconsegueix captar del tot l'atenció de l'espectador, per una no massa bona tria d'alguns aspectes com el tipus i mida de lletra, els colors o els elements gràfics i visuals.	Es presenten de forma força sintètica però desordenada o confusa els conceptes i objectius de la presentació. La presentació no està prou ben dissenyada, de manera que costa d'entendre-la o no aconsegueix que l'espectador es senti atret a seguir l'explicació. A causa d'una mala tria del tipus o mida de la lletra, dels colors, o de la quantitat i/o qualitat dels elements gràfics i visuals.	No es troben ben diferenciats els diferents objectius o conceptes, en manca algun i la seva presentació és desordenada. El disseny de la presentació fa que sigui molt difícil de seguir/entendre i/o no aconsegueix captar gens l'atenció. Hi ha una mala selecció dels elements gràfics, per excés o per defecte, el tipus o mida de lletra dificulta molt la lectura, els colors emprats dificulten la lectura o no són gens atraents.
Ús del llenguatge oral i comunicació no verbal	10%	S'utilitza un estil adequat per a la temàtica. La forma d'expressar els continguts orals i gràfics, així com i el vocabulari emprat són adients al context en què s'efectua. Es reforça el missatge i s'aconsegueix mantenir l'atenció de l'audiència utilitzant de forma molt efectiva les tècniques de comunicació oral: es mira a l'audiència, s'utilitza el volum adequat, es modula el to, es reforça el missatge verbal mitjançant gestos, no s'inclouen falques en el discurs, etc.	En general, s'utilitza un estil adequat encara que, en algunes ocasions, s'introdueixen algunes idees, o resultats gràfics no del tot ben expressats o en el vocabulari s'emporten termes excessivament simples quan es requereixen termes tècnics o, per contra, massa tècnics per exposar conceptes bàsics. En general, s'utilitzen bé les tècniques de comunicació oral encara que, en algunes ocasions, no es mira a l'audiència, s'inclouen falques o no s'utilitza el volum adequat.	En diverses ocasions, la forma d'expressar els continguts orals o gràfics no és l'adequada. Sovint s'introdueixen idees i vocabulari no adequat al contingut. Es recorta el discurs amb poques tècniques de comunicació oral. S'aconsegueix transmetre els elements essencials del seu discurs però no es mira a l'audiència, no es modula el to o, de vegades, no s'utilitza el volum adequat, no es reforça el missatge verbal mitjançant gestos o s'inclouen falques en el discurs.	No s'expressen de forma adient ni els continguts orals ni els elements gràfics. El vocabulari o és massa simple, o massa especialitzat i tencificat d'acord al caràcter del contingut. S'exposa amb molt nerviosisme, es lleiguen directament de les notes o el text i no es fa ús de les tècniques de comunicació oral. La forma de comunicar no ajuda gens a mantenir l'atenció de l'audiència.
Resposta a les preguntes dels avaluadors	15%	Es mostra interès pels comentaris rebuts escoltant amb atenció. Es respon a les preguntes que es formulen amb facilitat i encert.	S'escolten les preguntes i comentaris formulats. Es respon a les preguntes que es formulen amb encert.	No s'està massa atent als comentaris de l'interlocutor. Es contesten les preguntes que es formulen sense arribar a respondre-les de forma raonablement adequada.	S'interromp a qui parlaria sense acabar d'escoltar els seus arguments. No es sap respondre les preguntes que es formulen o es respon una cosa diferent al que s'està preguntant.

Rúbrica informe tècnic (PBL pràctiques)

Pes	Molt adequat (Excel·lent: 9-10)	Adequat (Notable: 7-8)	Bàsic (Aprovat: 5-6)	Inadequat (Suspens: 0-4)
30%	S'inclouen totes les gràfiques i taules de dades de totes les variables analitzades per cada espècie i en cada experiment. El format de les gràfiques facilita la visualització dels valors de cada variable.	S'inclouen totes les gràfiques i taules de dades de totes les variables analitzades per cada espècie i en cada experiment. El format de les gràfiques dificulta la visualització dels valors de cada variable.	No s'inclouen totes les gràfiques i taules de dades de totes les variables analitzades per cada espècie i en cada experiment. El format de les gràfiques facilita la visualització dels valors de cada variable.	No s'inclouen totes les gràfiques i taules de dades de totes les variables analitzades per cada espècie i en cada experiment. El format de les gràfiques dificulta la visualització dels valors de cada variable.
60%	Es discuteixen i interpreten de forma excel·lent els resultats, mostrant un excel·lent coneixement del tema	Es discuteixen i interpreten de forma adequada els resultats, mostrant un adequat coneixement del tema	Es discuteixen i interpreten de forma acceptable els resultats, mostrant un coneixement bàsic del tema	No es discuteixen i interpreten de forma adequada els resultats, mostrant un coneixement insuficient del tema
10%	Es presenten i citen les referències bibliogràfiques completes, en un estil i format adequats	Es presenten i citen les referències bibliogràfiques completes, amb alguns errors de format	Es presenten totes les referències bibliogràfiques però el format i/o les cites són incorrectes	No es presenten referències bibliogràfiques o les referències i les cites són incompletes



Objectiu

l'objectiu d'aquesta pràctica és dissenyar un **planificament experimental** adequat per resoldre un problema biològic que finalment ens permetri ocupar o refutar la hipòtesi plantejada.

Exercici 1: Planificació de la recerca (documentació).

- 1. **Comprendre** de la qüestió que és objecte de la recerca (documentació).
- 2. **Establir** l'objectiu de l'estudi i el disseny de l'experiment.
- 3. **Identificar** les variables que podrien influir en el resultat de l'experiment.
- 4. **Identificar** les variables que podrien influir en el resultat de l'experiment.
- 5. **Identificar** les variables que podrien influir en el resultat de l'experiment.
- 6. **Identificar** les variables que podrien influir en el resultat de l'experiment.

En les pràctiques també treballarem els conceptes de model animal versus animal experimental (diferències, avantatges i desavantatges etc.) i necessitat i control de l'aparellament animal (règim del treball amb animals experimentals) i la 3Rs).

Problemes plantejats

- 1. **Adaptació a un canvi de temperatura** del medi extern en un model de vertebrats ectoterm.
- 2. **Tenen personalitat els peixos?** Determinació del perfil de personalitat (animals proactius o reactius) en peixos.

Tasca

Planifiquem un disseny experimental ideal per resoldre aquestes dos preguntes: (1) **Quin és l'efecte de la temperatura sobre la fisiologia dels peixos?** i (2) **Quin és l'efecte de la temperatura sobre la fisiologia dels peixos?** (1a i 2a preguntes de la tasca).

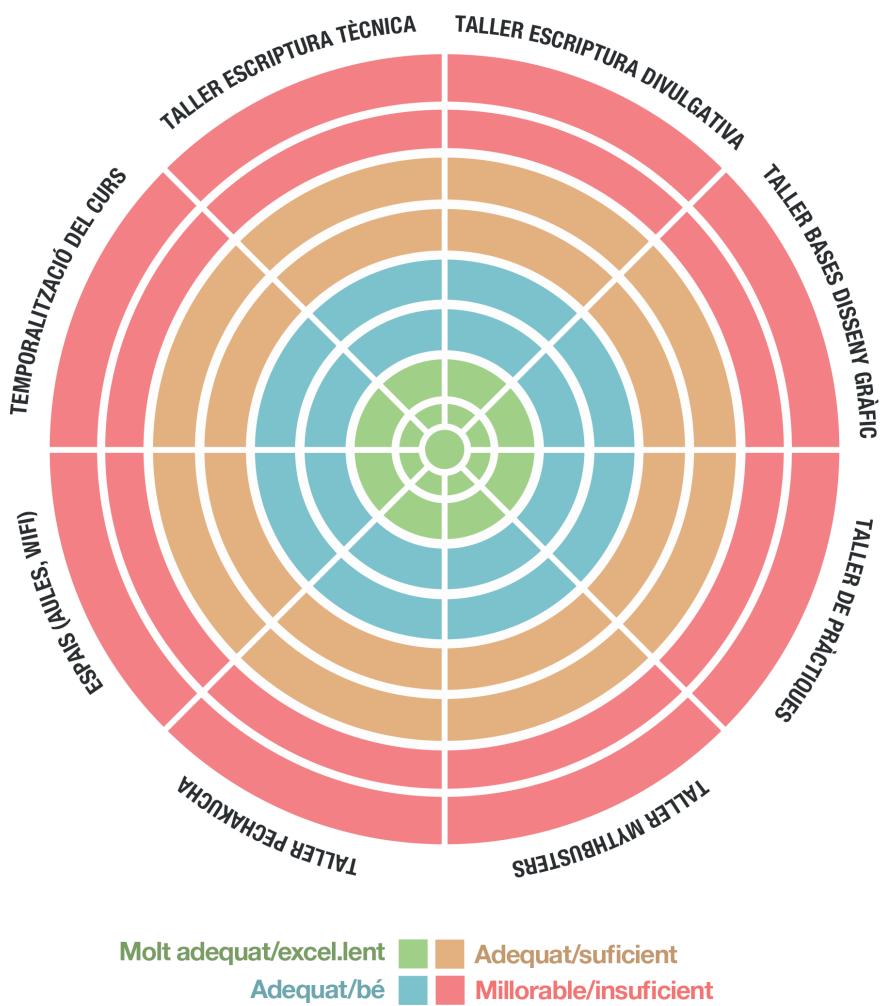
Fonaments i procediment

- 1. **Influència de la temperatura en la fisiologia dels peixos**
- 2. **Procediment**

En peixos són animals **poiquilotermes**, per tant, tenen moltes dificultats per mantenir constant la seva temperatura corporal. Per això, solen viure a temperatures a la del medi ambient. Els peixos són animals **ectotermes**, és a dir, la seva temperatura corporal depèn de la temperatura del medi ambient. Els peixos són animals **ectotermes**, és a dir, la seva temperatura corporal depèn de la temperatura del medi ambient. Els peixos són animals **ectotermes**, és a dir, la seva temperatura corporal depèn de la temperatura del medi ambient.

A més d'aquesta retroacció constant entre alumnat i professorat durant les sessions d'aprenentatge actiu, en acabar l'última activitat (pechakucha) es demana a l'alumnat que expressi la seva opinió, anònimament, sobre les diferents activitats, tallers, espais i temporització mitjançant una diana de valoració (Figura 5).

Figura 5. Exemple de diana de valoració per als diferents tallers del projecte Genknown



Observacions	Què t'ha agradat més?	Què canviaries?

Així, l'alumnat pot valorar anònimament els tallers d'escriptura tècnica i divulgativa, disseny gràfic i comunicació aplicats a les presentacions, l'ABP de les pràctiques, la temporització del curs, la idoneïtat dels espais i qualsevol altra mancança o punt fort de l'aproximació a l'aprenentatge actiu. Cada participant avalua els diferents tallers marcant en la diana la seva percepció (millorable, suficient, bé o excel·lent) de cada ítem.

La valoració acumulada durant els diversos cursos (Figura 6) dona suport a la implementació de metodologies actives d'aprenentatge, i posa en relleu l'interès pels tallers associats a la representació gràfica i comunicativa dels conceptes treballats durant el curs. La càrrega de treball, associada a la temporització de les activitats, és la queixa recurrent, necessàriament limitada per la disponibilitat d'aules amb wifi i taules mòbils, que ajuden a reorganitzar la classe en grups de treball, a més dels imponderables característics de les assignatures optatives com la Fisiologia Animal Comparada i Ambiental (solapament amb altres d'assignatures, horaris i exàmens, sortides de camp d'altres assignatures que buiden significativament la quantitat de grups de treball, etc.).

Els materials didàctics elaborats a cada curs (Figura 7), a més de ser utilitzats i analitzats amb satisfacció pels alumnes i professors de Biologia d'ESO i batxillerat, susciten preguntes que, sota una aparença de simplicitat, no tenen una resposta fàcil, i obliguen a repensar la manera d'explicar conceptes amb una alta densitat d'informació (com els mecanismes adaptatius o les vies de regulació fisiològica). En aquest sentit, per a l'alumnat universitari, a la feina de discriminar, sintetitzar i exposar continguts tècnics en un format assequible per a tothom s'afegeix la necessitat de raonar, integrar, comprendre i, per tant, poder explicar amb senzillesa el nucli i les implicacions dels conceptes. Pensem que això ajuda a reforçar el domini dels fonaments d'elaboració i comunicació de conceptes tècnics a un públic no especialitzat, facilitant de retruc l'assimilació dels conceptes tècnics.

Figura 6. Valoració acumulada del grau de satisfacció de l'alumnat del projecte Genknown, desglossat pels diferents tallers i observacions comuns en cada curs. Els diversos tallers poden variar en temporització i contingut cada curs, en funció del nombre d'alumnes, la disponibilitat d'aules i els canvis imprevistos en els horaris en el conjunt d'assignatures.

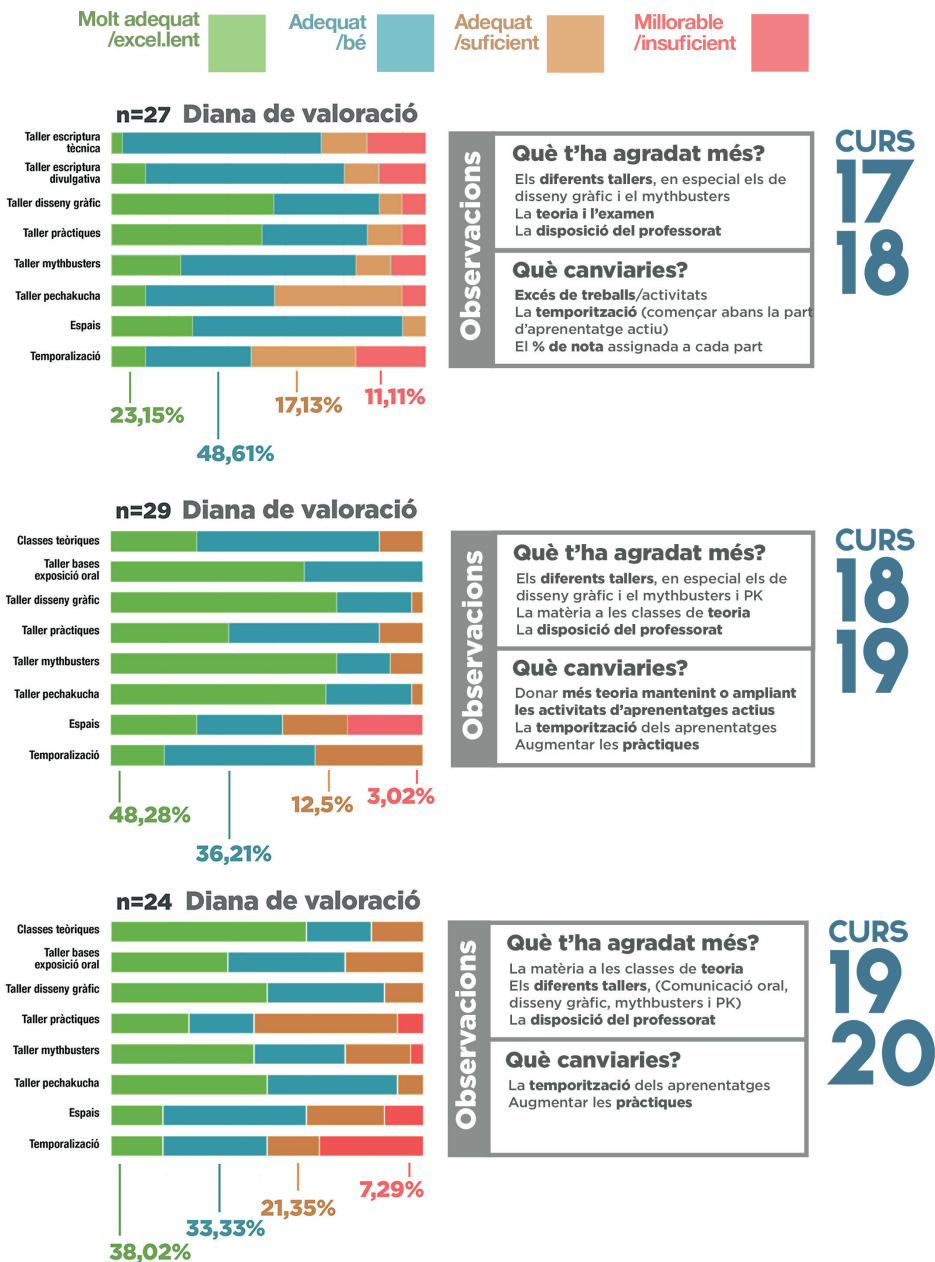


Figura 7. Material didàctic derivat del taller d'escriptura divulgativa que utilitzen els alumnes d'ESO i batxillerat com a recurs per al seu temari de Biologia. L'extensió màxima de cada blog és d'unes 1.000-2.000 paraules, un full per les dues cares, de les quals en la figura només es mostra la portada. Aquest format permet ser inclòs en la docència de Biologia sense haver de reformular extensament la planificació del curs, aportant a la vegada un contingut extens d'informació especialitzada explicada de manera assequible, com a complement del temari.



De fet, Josep M. Puig defineix els projectes d'aprenentatge servei com “propostes educatives que combinen simultàniament processos d'aprenentatge i servei a la comunitat articulats en un únic projecte en el qual els participants aprenen mitjançant el treball centrat a les necessitats reals del seu entorn, amb la finalitat de millorar-lo” (Puig, 2006). La fortalesa d'aquesta pedagogia activa rau en el fet d'obrir l'escenari educatiu a l'entorn i potenciar l'aprenentatge significatiu dels alumnes, ja que el servei que els joves universitaris desenvolupen al projecte Genknown els motiva a aprendre i transmetre de la millor manera els continguts treballats als seus companys de l'ESO i el batxillerat. El fet de contextualitzar els aprenentatges i dotar-los de realisme no està motivat únicament perquè es tracta d'una exposició per als seus companys de classe, sinó que la pràctica va més enllà i fa que es mobilitzin un seguit de competències, habilitats comunicatives i prosocials que enriqueixen l'experiència d'aprenentatge, posant-lo al servei dels alumnes del col·legi.

Cal remarcar la importància de la reflexió, al llarg de tot el projecte, com un element que ajuda a consolidar els aprenentatges, donat que els alumnes del col·legi elaboren un portafolis reflexiu en el qual recullen les evidències dels aprenentatges del trimestre, potenciant la metacognició, és a dir, valorant quins aprenentatges han adquirit i reflexionant sobre la manera com ho han fet (Ballvé i Martró, 2019). En aquest portafolis, tant els alumnes de 4t d'ESO com els de batxillerat destaquen de manera molt positiva la participació en el projecte Genknown. La reflexió i l'avaluació constitueixen, al seu torn, un binomi indissoluble i de gran importància també per als professors que acompanyen i lideren el projecte, donat que permet abordar l'avaluació de manera multifocal, valorant els aprenentatges adquirits per part dels alumnes universitaris, el grau de satisfacció d'aquests estudiants i de la contrapart, en aquest cas el col·legi Mare de Déu dels Àngels.

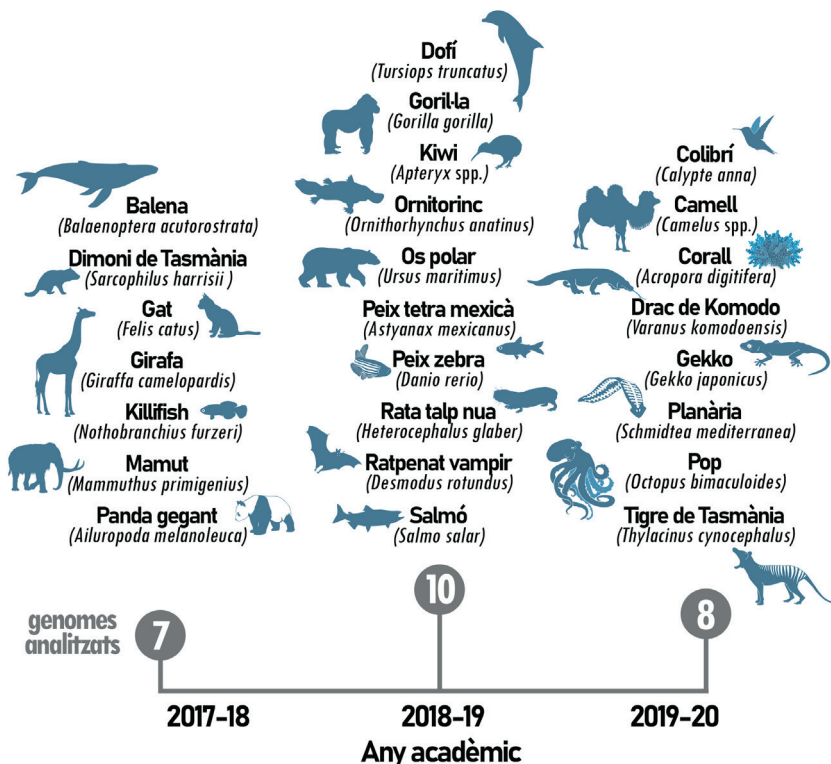
Constatem també que el model expositiu de classe magistral (*master class*) segueix sent necessari (i demanat pels alumnes) per introduir i comentar processos generals i detalls rellevants per als blocs didàctics, però insuficient per abastar la complexitat dels processos fisiològics que permetin a l'alumnat interioritzar una manera formal de pensar, recopilar informació útil, analitzar i experimentar. Les estratègies d'aprenentatge actiu milloren l'adquisició de coneixements en un tema complex com és la descripció basada en l'anàlisi del genoma de la fisiologia d'una espècie, i considerem que reforcen les habilitats comunicatives de l'alumnat, tant en un àmbit formal, vinculat a explicacions tècniques, com en l'aspecte divulgatiu, de caire més transversal.

Conclusions: més enllà del projecte inicial

Saber expressar i formalitzar arguments científicotècnics amb un disseny gràfic i formal adequat a oients diversos esdevé una necessitat fonamental, no només en un món de necessari treball en xarxa com el científic, sinó també, per extensió, en un món altament connectat a fonts d'informació que no sempre són de bona qualitat. Donada la satisfacció i l'interès de l'alumnat de Fisiologia Animal Comparada i Ambiental

pels tallers de comunicació, disseny gràfic i escriptura, considerem que no només són necessaris i susceptibles d'implementació en altres assignatures, sinó que també reforcen l'adquisició de coneixements i la recerca, la tria i l'exposició raonada d'informació sovint complexa. Fruit de l'experiència adquirida, de l'acollida rebuda per part de l'alumnat de les pedagogies d'aprenentatge actiu i del creixent nombre de genomes acumulats cada curs (Figura 8), hem ampliat el projecte a altres assignatures i a un públic general, mitjançant la creació d'una webapp accessible des d'ordinador o mòbil, oberta a tothom i vinculada als servidors de la UAB, en la qual els continguts generats cada curs pel projecte Genknown poden ser aprofitats pel professorat de diverses assignatures i per qualsevol persona que hi estigui interessada. El nou projecte, "Appomics: una web-app per a l'ApS de l'ecofisiologia del genoma", ara en fase de finalització i prova, fa accessible encara més el treball de l'alumnat de Biologia i recull la col·laboració bidireccional entre tots els participants, fent que tothom pugui gaudir de la feina dels que investiguen, dubten, expliquen, pregunten i són preguntats, i participar-hi, que és, al cap i a la fi, la millor manera de conèixer la història vital de les espècies amb les quals compartim un món comú.

Figura 8. Nombre de genomes analitzats des de l'inici del projecte Genknown-Appomics. S'hi inclouen també paleogenomes d'espècies extingides, com el mamut i el tigre de Tasmània.



Referències bibliogràfiques

- AGABA, M.; ISHENGOMA, E.; MILLER, W. C.; MCGRATH, B. C.; HUDSON, C. N.; BEDOYA REINA, O. C.; RATAN, A.; BURHANS, R.; CHIKHI, R.; MEDVEDEV, P.; PRAUL, C. A.; WU-CAVENER, L.; WOOD, B.; ROBERTSON, H.; PENFOLD, L.; CAVENE, D. R. 2016. "Giraffe genome sequence reveals clues to its unique morphology and physiology". *Nat Commun.* 7: 11519.
- BALLVÉ I MARTRÓ, M. 2018. *La reflexió: eix clau de l'Aprenentatge i Servei*. Barcelona: Fundació Jaume Bofill.
- BALLVÉ I MARTRÓ, M. 2019. "Creando espacios de reflexión en los proyectos de aprendizaje –servicio. Fundamento pedagógico y herramienta". *Comunicación y pedagogía*. 319-320:17-23.
- BEAMAN, J. E.; WHITE, C. R.; SEEBACHER, F. 2016. "Evolution of Plasticity: Mechanistic Link between Development and Reversible Acclimation". *Trends Ecol Evol.* 31(3): 237-49.
- BRAASCH I.; PETERSON, S. M.; DESVIGNES, T.; MCCLUSKEY, B. M.; BATZEL, P.; POSTLETHWAIT, J. H. 2015. "A new model army: Emerging fish models to study the genomics of vertebrate Evo-Devo". *J Exp Zool B Mol Dev Evol.* 324(4): 316-341.
- ELLEGREN, H. 2014. "Genome sequencing and population genomics in non-model organisms". *Trends Ecol Evol.* 29 (1): 51-63.
- GIANI, A. M.; GALLO, G. R.; GIANFRANCESCO, L.; FORMENTI, G. 2020. "Long walk to genomics: History and current approaches to genome sequencing and assembly". *Comput Struct Biotechnol J.* 18: 9-19
- GILBERT, S. F.; BOSCH, T. C. G.; LEDÓN-RETTIG, C. 2015. "Eco-Evo-Devo: developmental symbiosis and developmental plasticity as evolutionary agents". *Nat Rev Genet.* 16 (10): 611-22.
- GILBERT, S.F. 2016. "Developmental Plasticity and Developmental Symbiosis: The Return of Eco-Devo". *Curr Top Dev Biol.* 2016; 116: 415-33.
- KOUTSOVOULOS, G. 2016. "No evidence for extensive horizontal gene transfer in the genome of the tardigrade *Hypsibius dujardini*". *Proc Natl Acad Sci USA* 113(18): 5053-8.
- LYNCH, V.J. 2015. "Elephantid Genomes Reveal the Molecular Bases of Woolly Mammoth Adaptations to the Arctic". *Cell Rep.* 14; 12 (2): 217-28.
- MCLEAN, S.; ATTARDI, S. M.; FADEN, L.; GOLDSZMIDT, M. 2016. "Flipped classrooms and student learning: not just surface gains". *Adv Physiol Educ*, 40: 47–55.
- NOBLE, D.; JABLONKA, E.; JOYNER, M. J.; MÜLLER, G. B.; OMHOLT, S. W. 2014. "Evolution evolves: physiology returns to centre stage". *J Physiol*, 592(11): 2237–2244.
- PUIG, J. M. 2006. *L'Aprenentatge i Servei: educar per a la ciutadania*. Barcelona: Octaedro.
- SMITH, D.R. 2016. "The past, present and future of mitochondrial genomics: have we sequenced enough mtDNAs?". *Brief Funct Genomics.* 15(1): 47–54.
- VINEY, M. 2014. "The failure of genomics in biology". *Trends in Parasitol.* 30(7): 319-321.
- VUJOVIC, P. 2016. "Improving teaching skills: from interactive classroom to applicable knowledge". *Adv Physiol Educ*, 40: 1–4.

WELCH, A. J.; BEDOYA-REINA, O. C.; CARRETERO-PAULET, L.; MILLER, W.; RODE, K. D.; LINDQVIST, C. 2014. "Polar bears exhibit genome-wide signatures of bioenergetic adaptation to life in the arctic environment". *Genome Biol Evol.* 6(2): 433-50.